

KYMENLAAKSON AMMATTIKORKEAKOULU

Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma /Kone- ja laitossuunnittelu

Pekka Ruokola

PELLETTIKATTILAN PROTOTYYPIN KEHITTÄMINEN  
TUOTANTOASTEELLE

Opinnäytetyö 2011

# TIIVISTELMÄ

## KYMENLAAKSON AMMATTIKORKEAKOULU

### Kone- ja laitosuunnittelu

RUOKOLA, PEKKA

Opinnäytetyö

Työn ohjaaja

Toimeksiantaja

Maaliskuu 2011

Avainsanat

Pellettikattilan prototyypin kehittäminen tuotantoasteelle

29 sivua + 4 liitesivua

Markku Huhtinen

Nanea Oy

keskuslämmitys, tietokoneavusteinen suunnittelu,  
tuotekehitys, uusiutuvat energialähteet

Opinnäytetyön aiheena oli kehittää pellettikattilan prototyypistä pientaloihin soveltuva valmis lämmityskattila suunnittelemalla kattilaan puuttuvia toimintoja ja yksityiskohtia ja luoda myyntiä ja tuotekehitystä varten lämmityskattilan 3D-malli sekä tuotantoa varten 2D-työkuvat.

Työvälineinä käytettiin AutoCAD 2009 2D -suunnitteluohjelmaa puuttuvien toimintojen ja yksityiskohtien esisuunnitteluun ja hahmotteluun. 3D -malli ja lopulliset 2D-työkuvat tehtiin Solidworks 2009 -suunnitteluohjelmalla.

Koekäytössä ja 3D-mallia luodessa pellettikattilassa ilmeni teknisiä ongelmia muun muassa tuhkan siirtymisessä tuhka-astiaan. Lisäksi pellettikattilassa ilmeni puutteita paloturvallisuudessa paineenkestävän ja eristetyn kannen puuttuessa. Myös käyttömukavuudessa ilmeni puutteita liittyen tuhka-astian käytön ergonomiaan. Näihin ongelmiin löydettiin ratkaisut konstruktioita kehitettäessä.

Pellettikattilan prototyypin kehittäminen tuotantoasteelle edistyi suunnitelmien mukaan. Suunnitellut muutokset ja lisäykset toimivat koekäytössä teknisesti hyvin. 3D-mallista tuli odotusten mukainen ja 2D-työkuvista tuli selkeät.

## ABSTRACT

KYMENLAAKSON AMMATTIKORKEAKOULU

University of Applied Sciences

Mechanical and Production Technology

RUOKOLA, PEKKA

Bachelor's Thesis

Supervisor

Commissioned by

March 2011

Keywords

Creating a Prototype for a Pellet Boiler for Production

29 pages + 4 pages of appendices

Markku Huhtinen. Lic.Tech.

Nanea Oy

central heating, computer aided design, product development, renewable energy source

This study deals with the development of a pellet boiler prototype suitable for the central heating of single-family houses. The main objectives were to design accessory parts and details for the prototype and to create a 3D model for sale and product development. Another objective was to create 2D pictures for the mechanical engineering industry.

The 3D model and the 2D pictures were created by using Solidworks 2009 3D design software. AutoCAD 2009 2D design software was used to create the preliminary design of details and missing parts.

In the testing of the pellet boiler and the creation of the 3D model, a few technical problems appeared: for example, ash did not move into the ash container in the desired way. In addition, the fire safety was inadequate because the cover was incomplete. As ergonomics was an important issue, the original ash container had to be redesigned because it was not user-friendly. The identified problems were solved in the course of the study.

The creation of the pellet boiler prototype progressed according to the plan, and the designed modifications and additions functioned well. The completed 3D model came up to expectations and the 2D pictures were clear.

# SISÄLLYS

## TIIVISTELMÄ

## ABSTRACT

1	JOHDANTO	5
2	TAUSTATIETOA POLTTOAINEISTA JA NIIDEN KÄYTÖSTÄ	6
2.1	Puun käyttö Suomessa	6
2.2	Fossiilisten polttoaineiden tilanne	6
2.3	Palamisprosessissa syntyvät päästöt	7
2.4	Nykyiset ja tulevat päästönormit	8
2.5	Puupelletin historia	8
3	PELETTIKATTILAN KEHITYSKAARI	9
3.1	Pellettikattilan kohderyhmä	9
3.2	Pellettikattilan ensimmäinen versio	9
3.3	Uuden pellettikattilan toimintaperiaate teoriassa	11
3.4	Uuden pellettikattilan toimintaperiaate käytännössä	11
4	PELETTIKATTILAN 3D-MALLIN LUONTI	14
4.1	Opinnäytetyössä käytetyt ohjelmistot	14
4.2	3D-mallinnuksen toteutuksen kartoitus	14
4.3	Osien mallinnus	15
4.4	Kokoonpanojen hallinta	16
5	PELETTIKATTILAN ONGELMAKOHDAT JA RATKAISUT	18
5.1	Turvallisuus	19
5.2	Tekniset puutteet	21
5.3	Kokoonpanoa hidastavat puutteet	23
5.4	Käyttäjystävällisyys ja ergonomia	24
6	2D-TYÖKUVIEN LUONTI	26

## LIITTEET

- Liite 1. Savukaasun lämmön talteenottokierukka
- Liite 2. Pääkokoonpanokuva
- Liite 3. Alikokoonpanokuva
- Liite 4. Osakuva

## 1 JOHDANTO

Suomessa on noin 300 000 öljylämmitteistä rakennusta, joista suurin osa on pientaloja (1). Osa näistä öljylämmityskattiloista alkaa käyttökänsä puolesta olla pian vaihdettavissa ja kiinteistöjen omistajat mielellään nykyisen globaalin fossiilisen energian hinnan nousun johdosta harkitsevat halvempaa polttoainetta käyttäviä lämmitysmuotoja.

Nanea Oy on Juha Karvisen perustama yritys, joka on toiminut uusiutuvien energiamuotojen parissa vuodesta 2005. Kehityksen kohteina on ollut muun muassa pellettikattilat, savukaasun lämmöntalteenottokierukat sekä heat pipe -tekniikkaan perustuvat aurinkokeräimet. 2.1.2011 Nanea Oy myi tuotteensa Runtech Energylle (2).

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena on luoda Nanea Oy:n kehittämästä pellettikattilasta täydellinen 3D-mallinnus, sekä valmistusta ja kokoonpanoa varten 2D-piirustukset. Lisäksi opinnäytetyöni tarkoituksena on jatkojalostaa pellettikattilasta entistä toimivampi, vähäpäästöisempi ja hyötysuhteeltaan tehokkaampi, uusiutuvaa puuenergiaa käyttävä lämmityskattila. Kone- ja laitossuunnitteluun suuntautumiseni vuoksi opinnäytetyöni keskittyy enimmäkseen mekaanisiin ratkaisuihin sekä raaka-aine- ja komponenttivalintoihin eikä niinkään energiateknisiin ratkaisuihin.

Pellettikattila on liitetty osaksi Hämeen, Turun, Saimaan ja Kymenlaakson ammattikorkeakoulujen, Laurea- ja Metropolia-ammattikorkeakoulujen sekä Lappeenrannan teknillisen yliopiston järjestämää Rocket-hanketta. Hankkeen tavoitteena on kehittää metalli- ja koneteknologia-alan yritysten innovaatiotoimintaa sekä kansainvälistymistä tukevien verkostojen ja rakenteiden kehittämistä suomalaisiin korkeakouluihin.

## 2 TAUSTATIETOA POLTTOAINEISTA JA NIIDEN KÄYTÖSTÄ

### 2.1 Puun käyttö Suomessa

Puu on ollut kautta aikojen suomalaisille läheinen ja tärkeä raaka-aine. Puusta on saatu lämmitysenergian lisäksi muun muassa tervaa, rakennusmateriaaleja sekä myöhemmin paperia ja hartsia. Saha-, massa- ja paperiteollisuus lähti voimakkaaseen kasvuun 1800-luvun puolivälissä koneiden kehittyessä (3). Nyt 2000-luvulla paperiteollisuus on globalisoitumisen ja maailmanlaajuisen taantuman ansiosta alkanut osoittaa hiipumisen merkkejä Suomessa, ja suomalaisilla metsän omistajilla ja yrittäjillä on herännyt mielenkiinto vaihtoehtoiseen puunkäyttöön.

Pientalojen puun käyttö lämmitysenergiana on kasvanut viimeisen seitsemän vuoden aikana 9 prosenttia, ja 15 vuoden aikana polttopuun käyttö on lisääntynyt 20 prosenttia. Lämmityskaudella 2007–2008 Suomessa poltettiin puuta 6,7 miljoonaa kuutiometriä, josta 4,9 miljoonaa kuutiometriä oli klapeja ja halkoja. Metsäjätepuuta, rakennusjätepuuta ja sahauksessa syntyviä sivutuotteita poltettiin 1,3 miljoonaa kuutiometriä. Loput 0,5 miljoonaa kuutiometriä poltetusta puutavarasta oli haketta. (4)

Suomen metsät kasvavat vuodessa 100 miljoonaa kiintokuutiometriä, ja vuotuinen poistuma on 70 miljoonaa kiintokuutiometriä (5). Kestävän kehityksen kannalta vuotuista puunkäyttöä voisi teoriassa vielä lisätä 30 miljoonalla kiintokuutiometrillä, jonka voisi hyödyntää suoraan lämmitysenergiaksi. Kyseinen puumäärä sisältää energiaa yli 60 000 GWh. Tästä energiamäärästä on realistista olettaa, että sähköä voidaan tuottaa 30-40 % riippuen sähkölaitosten hyötysuhteista. Vertailukohtana voidaan mainita, että Olkiluoto 1 ja 2 -ydinvoimalayksiköt tuottivat vuonna 2008 yhteensä noin 14 000 GWh sähköenergiaa (6).

### 2.2 Fossiilisten polttoaineiden tilanne

Maailman fossiiliset energiavarat hupenevat jatkuvasti. Tämän hetken arvion mukaan, kulutuksen pysyessä ennallaan, helposti hyödynnettävät raakaöljy- ja kaasuvarannot tulevat loppumaan 40-70 vuoden kuluessa (7). Raili Leino kirjoittaa Tekniikka & Talous -lehden artikkelissa, että nykyiset varmasti tunnetut uraanivarat riittävät tuottamaan sähköä tämän päivän tekniikalla 85 vuotta. Toisaalta Leino kertoo myös,

kuinka tulevaisuuden tekniikalla ja kaikki uraanivarat hyödyntämällä uraani riittäisi jopa 160 000 vuodeksi sähköntuotannon pysyessä ennallaan. (8)

Fossiilisten polttoainevarantojen vähetessä myös niiden markkinahinnat tulevat kasvamaan kysynnän lisääntymisen ansiosta. Esimerkiksi raakaöljyn keskihinta Illinois Basinin tuottamalla öljykentällä vuonna 2000 oli 27,40 USD/barreli ja nousi viidessä vuodessa lähes kaksinkertaiseksi. Vuonna 2005 raakaöljyn keskihinta oli 50,04 USD/barreli. Vuonna 2008 raakaöljyn keskihinta oli jo 91,48 USD/barreli ja korkeimmillaan 2000-luvulla hinta on käynyt yli 125 USD:ssa/barreli (9).

### 2.3 Palamisprosessissa syntyvät päästöt

Puun huonosta palamisesta aiheutuu pienhiukkaspäästöjä, häkää ja orgaanisia yhdisteitä. Toisaalta puu on palaessaankin hiilidioksidivapaata. Kasvaessaan se on sitonut itseensä hiilidioksidia, joka vapautuu lopulta palaessa tai lahotessa. Puun poltossa syntyviä päästöjä voidaan vähentää optimoimalla palamislämpötilaa ja palamisilman määrää. Mikäli toinen tai molemmat näistä optimoitavista kohteista ovat pielessä, nousee tulisijan piipusta tummaa savua, joka sisältää runsaasti haitallisia päästöjä. (10)

Lämmitysöljy puolestaan saadaan palamaan helposti pitkälle kehittyneissä öljypolttimissa puhtaasti, mutta fossiilisuutensa ansiosta öljy ei ole hiilidioksidivapaata. Esimerkiksi Senera Oy:n tekemän laskelman mukaan, jos omakotitalossa polttaa 4000 litraa lämmitysöljyä, syntyy tästä määrästä 10 800 kg hiilidioksidia. (11)

Kivihiiilen poltossa syntyy merkittäviä määriä rikkidioksidia, typen oksideja, pienhiukkasia sekä hiilidioksidia. Kuitenkin kivihiieltä poltetaan Suomessa käytännössä vain suurissa voimaloissa, joissa on käytössä tehokkaat polttotekniseen ja savukaasun puhdistukseen perustuvat päästöjen vähennysmenetelmät. (12)

## 2.4 Nykyiset ja tulevat päästönormit

Päästönormeissa puhutaan häkäpitoisuuksista ppm-yksikössä, joka tarkoittaa kaasujen tilavuussuhdetta miljoonasosissa. Esimerkiksi tällä hetkellä teholuokaltaan alle 50 kW:n tehoisille pääasiallisille lämmitysjärjestelmille häkäpitoisuusrajaksi on määrätty 3000 ppm, eli savukaasun tilavuudesta enintään 0,3 % saa olla häkää, ja toissijaisille lämmitysjärjestelmille 5000 ppm, eli häkäpitoisuus saa olla enintään 0,5 %. Saksassa kaavaillaan uusia päästönormeja, jotka astuisivat voimaan 31.12.2014. Näissä normeissa matalatulipesäisen kamiinan savukaasun häkäpitoisuus saa olla enintään 1250 ppm, ja hyötysuhteeltaan kamiinan tulee olla vähintään 73 %. (13)

## 2.5 Puupelletin historia

Puupelletti valmistetaan puristamalla jauhettua purua kovan lämmön ja paineen alla matriisin läpi, jonka jälkeen puupelletit jäähdytetään ja seulotaan hienoaineista puhtaiksi (14). Kuvassa 1 on valmiiksi puristettua pellettipolttoainetta.



Kuva 1. Puupelletit syntyvät hienonnetusta sahanpurusta, joka puristetaan kovan kuumuuden ja paineen avulla matriisin läpi. Valmistusprosessissa puupelletin kosteusprosentti laskee noin 10 %:iin. (15)

Saksalaissyntyisen Rudolf Gunnermanin keksimä puupelletti patentoitiin *Woodex*-tuotenimellä Yhdysvalloissa vuonna 1976 ja sen ensisijaisena tarkoituksena oli korvata kivihiilen käyttö lämpö- ja sähkövoimaloissa. Suomessa pellettituotanto



aloitettiin vuonna 1998, kun Finncambi Oy perusti pellettitehtaan Vöyriin, Pohjanmaalle. Vuoden 1998 puupellettituotanto oli noin 10 000 tonnia. (16) Anssi Kokkosen ja Simo Paukkusen tekemän tiedotteen mukaan vuonna 2006 Suomessa käytettiin puupellettejä 100 000 tonnia (17). Puupelletin hyviä puolia ovat pellettien tasalaatuisuus ja siirous. Näiden seikkojen vuoksi pelletin siirto-, varastointi- ja polttolaitteistoiksi riittävät kevytrakenteiset laitteet. Lisäksi pelletit ovat erittäin kuivia, joten varastoitaessa ne eivät homehdu eivätkä jäädy. Tasalaatuisuutensa ansiosta pellettipolttimen ilman- ja polttoaineensyöttö voidaan säätää optimaaliseksi, eikä säätöjä tarvitse muuttaa puhtaan palamisen ylläpitämiseksi. Haittapuolena tavalliseen polttopuuhun verrattuna voidaan mainita puupelletin korkeampi hinta. (18) Lisäksi polttopuun valmistuksessa on huomattavasti enemmän tuottajia ja toimittajia, kuin puupellettien valmistuksessa.

### 3 PELLETTIKATTILAN KEHITYSKAARI

#### 3.1 Pellettikattilan kohderyhmä

Pellettikattila on suunniteltu lämminvesikierrolla varustettujen omakotitalojen lämmitykseen haja-asutusalueilla, ja sillä pystyy polttamaan pellettejä, haketta sekä klapeja. Asiakaskunnaksi on kaavailtu uudisrakennuksia sekä öljykattilan uusimisen tarpeessa olevia vanhempia rakennuksia. Pienikokoinen ja kevyt pellettikattila sopii pienempään tilaan kuin perinteiset öljykattilat, ja siihen kuluu vähemmän raaka-ainetta valmistuksessa, jolloin valmistuskustannukset saadaan edullisemmiksi.

#### 3.2 Pellettikattilan ensimmäinen versio

Pellettikattilan alkuperäisessä suunnitelmassa on lähdetty tavoittelemaan optimaalisia materiaali- ja valmistuskustannuksia. Tavoitetta on pyritty lähestymään valmistamalla pellettikattila, josta lämpö saadaan siirrettyä veteen, mutta kattila ei sisällä paineellista vesiastiaa, kuten perinteiset lämmityskattilat. Tästä syystä pellettikattilan runko saadaan valmistettua ohuemmista, ja tätä kautta halvemmista raaka-aineista.

Idea perustuu RunPipe -aallotettuun putkeen (Kuva 2). RunPipe on aallotettua, ohutseinäistä putkea, joka soveltuu kaasujen ja nesteiden siirtämiseen, ja sen

käyttöpaineeksi on määritelty 1,6 MPa. RunPipen lämmönsiirtoteho on hyvä aaltomaisen muotonsa ansiosta, koska putkessa on enemmän pinta-alaa kuin perinteisessä suorassa putkessa. Lisäksi RunPipe on helppo asentaa pellettikattilan ympärille, sillä putki on helposti taiteltavissa käsin, ja sitä valmistetaan 60 metrin mittaisena kelana, jolloin vältetään ylimääräisiltä liitoksilta. (19)



Kuva 2. RunPipe -aallotettua putkea valmistetaan ruostumattomasta ja haponkestävästä teräksestä. Putken seinämäpaksuus on vain noin 0,3 mm, minkä vuoksi putki on erittäin kevyttä. Aaltomaisen muotonsa ja ohuen seinämäpaksuutensa ansiosta käyttäjän on erittäin helppo taivuttaa RunPipe käsin haluamaansa muotoon. (20)

Vuonna 2008 pellettikattilan kehittäjä, Juha Karvinen, keskusteli Pyhtääläisen keksijän Vilho Widingin kanssa kaksoispolttoperiaatteesta ja sen soveltamisesta toimivaksi pellettikattilaksi. Widing hahmotteli Karviselle luonnoksen, jossa reikälevystä mankeloitu lieriömäinen polttokori sijaitsee pellettikattilan keskellä, ja tarkoituksena oli, että pellettien palaessa kattilan sisälle aikaansaadaan syklonimainen pyörre savukaasuvirtaukseen.

Syklonimaisen pyörteen tarkoituksena on luoda pieneen palotilaan liekille pitkä palo aika, jolloin hiilipartikkelit palavat savukaasuista kokonaan. Lisäksi pyörteellä pyritään erottelemaan mahdollisimman paljon kiintoainetta savukaasuvirtauksesta pois ennen savupiippuun menoa. Syklonimaisen pyörteen tarkoituksena on myös tasata

lämpötilaa pellettikattilan sisällä, jolloin lämmön talteenottojärjestelmä olisi mahdollisimman laaja-alaisesti käytössä.

Ensimmäinen prototyyppi valmistui pian, mutta polttoprosessissa oli ongelmia. Aluksi pellettipanos syttyi erittäin hitaasti. Kattila savutti todella paljon noin 20 minuuttia sytytyksen jälkeen. Tämän jälkeen pellettipanos syttyi kunnolla palamaan ja arinan suuren pinta-alan vuoksi paloi hetken aikaa niin suurella teholla, ettei kattilan lämmön talteenottojärjestelmä pysynyt mukana. Pian pellettipanos hiipui ja sammui kokonaan. Liian suuren hetkellisen palotehon vuoksi pellettikattilan ensimmäisellä prototyypillä oli erittäin huono hyötysuhde.

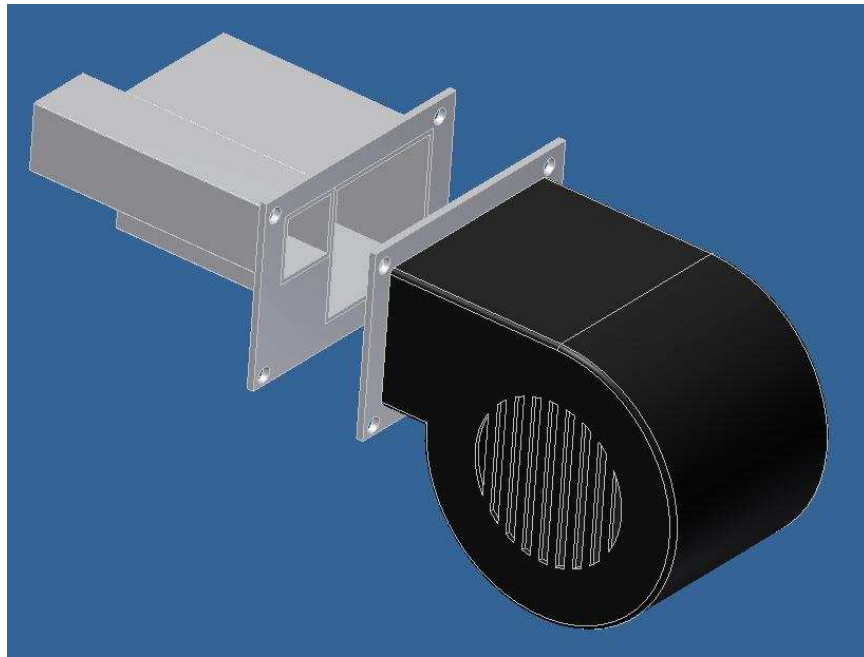
### 3.3 Uuden pellettikattilan toimintaperiaate teoriassa

Pellettikattilan nykyinen versio on suunniteltu panospolttoiseksi, noin 10 kW:n tehoiseksi lämmityskattilaksi. Pelletit ladataan polttokoriin ja sytytetään päältä. Ensiöilmakanava puhaltaa paloilmaa polttimen yläpäähän, josta polttokorissa oleva palo saa tarvittavan happimäärän palamisen ylläpitämiseksi. Savukaasut ohjautuvat polttokorin pystyarinan läpi, minkä jälkeen toisioilmakanava puhaltaa toisioilmaa kohtisuoraan savukaasuvirtaukseen nähden ja saa aikaan toisiopalon sekä liekin ja savukaasujen syklonimaisen pyörteen palotilassa.

Jotta pellettikattila saataisiin pysymään kohtuullisen pienenä, ei palotilan ympärillä olevaa lämmön talteenottopinta-alaa voida kasvattaa riittävästi hyvän hyötysuhteen takaamiseksi. Tämän takia savupiipun sisään on asennettu lämmön talteenottokierukka, joka jäähdyttää savukaasun 100–150 °C. Tilan säästämiseksi lämmön talteenottokierukka on mahdollista asentaa myös talon varsinaiseen savupiippuun omaksi järjestelmäksi, mutta tämä järjestelmä vaatii oman kierrätyspumppu-säädinyksikön, ja tästä johtuen kokonaiskustannukset nousevat jonkin verran.

### 3.4 Uuden pellettikattilan toimintaperiaate käytännössä

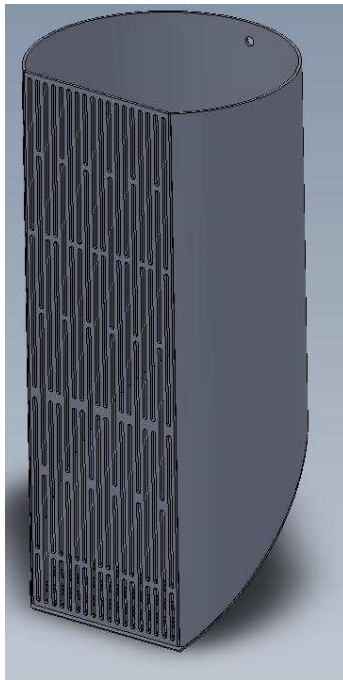
Pellettikattilan ensiö- ja toisioilmansyöttö on toteutettu yhdellä puhaltimella jakamalla syöttöilma kahteen erilliseen kanavaan (Kuva 3). Mitoittamalla puhaltimesta lähtevät ilmansyöttökanavan aukot sopiviksi saadaan optimoitua ensiö- ja toisioilmansyötöt sopiviksi eikä pellettikattila tarvitse kahta puhallinta eikä erillisiä tehonsäätimiä.



Kuva 3. Pellettikattilan ilmansyöttö tapahtuu yhdellä puhaltimella. Ilmansyöttökanava jakautuu kahteen osaan; ensiöilmakanava ja toisioilmakanava.

Pellettien palaminen tapahtuu polttokorissa (Kuva 4) joka täytetään pelleteillä ja sytytetään. Ensiöilma puhaltaa liekin pystyarinan läpi. Pystyarinassa olevat raot on mitoitettu siten, että liekki ja savukaasut läpäisevät arinan mahdollisimman helposti, mutta palamattomat pelletit eivät valu raoista pellettikattilan pohjalle.

Polttokorissa on päädytty pystyarinaan pellettipanoksen tiiveyden ansiosta, sillä arinan ollessa polttokorin pohjassa ja syötettäessä ensiöilma polttokorin yläosaan ei ensiöilma pääse läpäisemään tarpeeksi tehokkaasti pellettipanosta, jolloin tuloksena on erittäin kituva palaminen tai vaihtoehtoisesti liekki sammuu kokonaan.



Kuva 4. Ensiöilman tullessa polttokorin yläpäähän ei pystyarina ole kovin arka puupellettien tiivistymiselle, jolloin polttoprosessin tukahtumisen vaaraa ei ole.

Maahantuojan mukaan RunPipe -aallotettu putki ei kestä yli 600 °C lämpötilaa, mistä johtuen lämmön talteenottoputkisto on sijoitettu pellettikattilan palotilan ulkopuolelle siten, että liekin ja RunPipen välissä on 3 mm:n paksuinen teräslevy. Lämpö johtuu teräslevyn läpi ja tasaa liekin yli 1000 °C:n lämpötilan alle 600 °C:een. Lämmön talteenottoputkiston edessä on vuorostaan 50 mm:n paksuinen eristelevy, joka estää liiallisen lämmönjohtumisen ympäröivään ilmaan.

Savupiippuun on asennettu savukeräin, jolla talteenotetaan savukaasuista ylimääräinen lämpöenergia, jota ei pellettikattilan palotilassa rajallisen lämmönsiirtopinta-alan ansiosta saada siirrettyä jäähdytysveteen. Savukeräin on valmistettu myös RunPipesta (Liite 1).

## 4 PELLETTIKATTILAN 3D-MALLIN LUONTI

### 4.1 Opinnäytetyössä käytetyt ohjelmistot

Tein pellettikattilan suunnittelussa havaintoesityskuvantoja AutoCAD 2009 -suunnitteluohjelmalla ja mallinsin 3D-mallin Solidworks 2009 -suunnitteluohjelmalla.

AutoCAD 2009 on Autodesk Inc:n valmistama 2D-suunnitteluohjelma. Ensimmäinen versio AutoCAD:sta julkaistiin jo vuonna 1982, ja 1990-luvun alussa AutoCAD:sta tuli johtava 2D-suunnitteluohjelman valmistaja, koska Autodesk Inc. toi suunnitteluohjelmiston pienyritysten ulottuville. Alun perin Autodesk Inc:n kehittämät \*.dwg-tiedostotyyppi ja \*.dxf-siirtoformaatti ovat standardisoituneet maailmanlaajuisiksi tiedostoformaateiksi 2D-suunnittelualalla. (21)

Solidworks 2009 on parametrinen 3D-suunnitteluohjelma. Solidworks Corp. julkaisi ensimmäisen Solidworks-ohjelmistonsa vuonna 1995. Vuonna 1997 ranskalainen Dassault Systèmes S. A. osti Solidworks Corp:n ja nimeksi tuli Dassault Systèmes Solidworks Corp. Tällä hetkellä Solidworks:lla on 700 000 käyttäjää ympäri maailman, ja se on yksi johtavista 3D-suunnitteluohjelmistojen valmistajista. (22) Vastaavia 3D-suunnitteluohjelmia ovat muun muassa Autodesk Inventor, Solid Edge, Alibre Design, Vertex, CATIA sekä Pro/Engineer.

### 4.2 3D-mallinnuksen toteutuksen kartoitus

Aloitin 3D-mallinnuksen joulukuussa 2009 ottamalla mittoja ja valokuvia valmiista pellettikattilan prototyypistä. Mittasin ja merkitsin muistiinpanoihini käytetyt levypaksuudet ja teräsosien päämitat. Lisäksi mittasin mahdollisimman tarkasti pellettikattilan ulkomitat, eristepaksuudet, mankeloitujen osien rullaussäteet ja kokoonpanossa käytetyt ruuvi- ja mutterikoot.

Mittavälineenä käytin tavallista rullamittaa, jonka mittatarkkuus soveltui kyseiseen tehtävään erinomaisesti, sillä tarkoituksena ei ollut luoda mittatarkasti samanlaista 3D-mallia, vaan mitoittaa tulevaan malliin prototyypissä olevat yksityiskohdat teknisesti ja visuaalisesti järkevästi.

Saatuani riittävästi mittatietoja ja valokuvia pellettikattilasta aloin hahmotella luetteloa 3D-mallin kokoonpanojärjestyksestä. Pyrin luomaan alikokoonpanot siten, että yksi alikokoonpano sisältää toisiinsa hitsatut osat. Tällöin 3D-mallinnuksesta tehtävät 2D-työkuvat ovat helpoimmalla mahdollisella tavalla toteutettavissa. Jatkoin kokoonpanosuunnittelua seuraavalle tasolle eli pääkokoonpanoon. Tähän kokoonpanoon asettaisin kaikki hitsatut alikokoonpanot, ruuviliitokset, tiivisteet, RunPipe -putkistot, eristeet, suojapellit ja muut yksittäiset osat, joita ei mallinneta omaksi alikokoonpanoksi.

Tässä vaiheessa myös pohdin pellettikattilaan tarvittavia materiaaleja. Päädyimme Juha Karvisen kanssa lopputulokseen, jossa pellettikattilan rungon osat, kuten runkoputki, ilmaputket, jalat ja kansi, tehdään tavallisesta S 235 -teräslajikkeesta ja savupiipun osat tehdään ruostumattomasta teräksestä. Lisäksi polttokorin osat, jotka altistuvat erityisen kuumille lämpötiloille, tehdään tulenkestävästä teräksestä.

#### 4.3 Osien mallinnus

Pellettikattilan 3D-mallinnuksen ensimmäiseksi osaksi piti valita keskeinen osa, johon tulisi kiinnittymään mahdollisimman paljon muita osia ja alikokoonpanoja. Niinpä mallinsin ensimmäisenä pellettikattilan runkoputken. Se laserleikataan levystä ja mankeloidaan putkeksi. Päätimme pellettikattilan kehittäjän, Juha Karvisen kanssa, että mitoitetaan runkoputki ja muut mankeloitavat osat DN-putkikokojen mukaan, jotta myöhemmin mahdollinen teollinen valmistus onnistuisi sekä levystä leikkaamalla ja mankeloimalla että valmiista putkesta katkaisemalla.

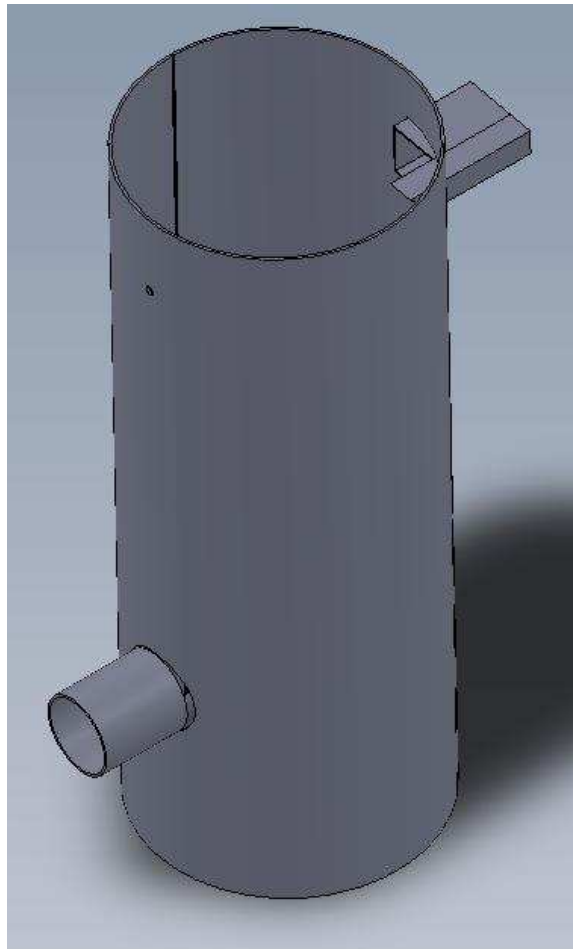
Runkoputken valmistuttua mallinsin rungon alikokoonpanoa varten kaikki osat, jotka liittyvät runkoputkeen hitsaamalla. Tähän alikokoonpanoon kuuluivat runkoputken lisäksi ilmaputket, jalat ja savupiippu. Mallinnuksen yhteydessä laserleikattavat ja mankeloitavat osat piti olla suunnitteluohjelmassa levityskelpoisia malleja, jotta osista pystyisi myöhemmin helposti luomaan polttoleikkauskuvat. Tätä toimintoa varten mallinsin ensin laserleikattavat ja mankeloitavat osat lopulliseen muotoonsa kaikkine leikkauksineen, ja lopuksi muutin osat mallinnusohjelmassa levytuotteiksi. Mallinnusohjelma osaa automaattisesti luoda levytuotteista levityskuvat.

Mallintaessani osia, otin huomioon standardin mukaiset terästuotteet ja niiden saatavuudet. Erityisen tärkeitä seikkoja olivat yleisimmät levypaksuudet,

rakenneputkikoot ja niiden materiaalipaksuudet sekä valmiit putkiosat, kuten savupiippuun tarvittavat hitsattavat teräskäyrät ja putkikartiot.

#### 4.4 Kokoonpanojen hallinta

Aloitin ensimmäisen alikokoonpanon luonnin asettamalla runkoputken kokoonpanon kiinteäksi referenssikappaleeksi (Kuva 5). Runkoputkeen liitin kiinni ilmaputkien tuloyhteen ja savupiipun lähtöyhteen. Näistä yhteistä lähdin edelleen kokoamaan ilmaputkia ja savupiippua.

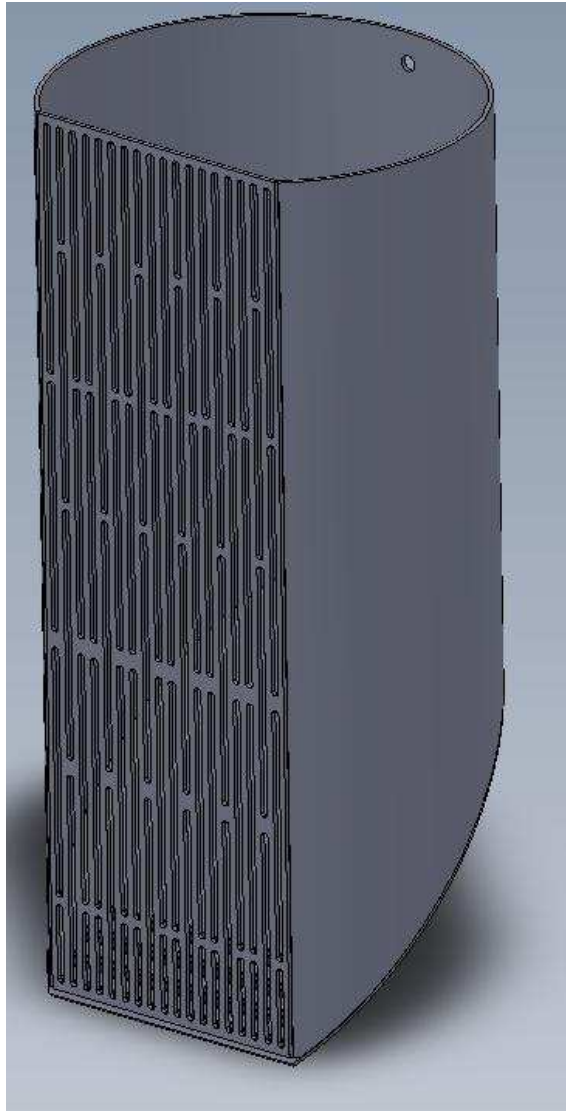


Kuva 5. Suurihalkaisijainen runkoputki on asetettu rungon alikokoonpanon referenssipisteeksi, johon on liitetty pienempiä osia, kuten ilmaputkien tuloyhteet, sekä savupiipun lähtöyhde.

Seuraavaksi mallinsin polttokorin omaksi alikokoonpanoksi (Kuva 6). Polttokori koostuu kolmesta osasta, vajaaympyräiseksi mankeloidusta seinämästä, pystyarinasta



sekä pohjalevystä. Nämä osat ovat toisissaan hitsaamalla kiinni, joten oli luonnollista tehdä polttokorista oma alikokoonpano ja liittää se ruuviliitoksella referenssikappaleeseen pääkokoonpanossa.

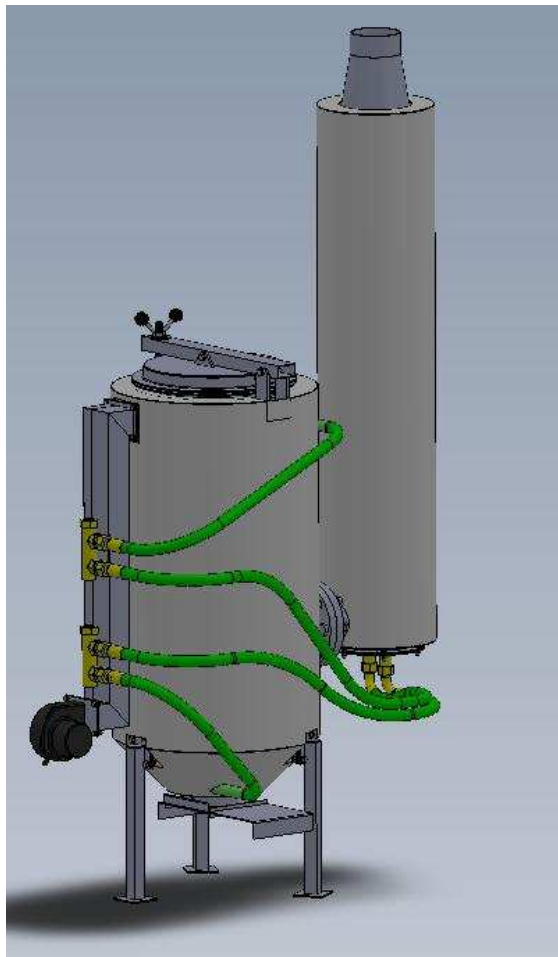


Kuva 6. Polttokori on luotu omaksi alikokoonpanoksi muunneltavuuden vuoksi 3D-suunnitteluohjelmassa. Polttokorin ollessa omana alikokoonpanona, on myöhemmin helppoa esimerkiksi muuttaa polttokorin korkeutta tai halkaisijaa.

Alikokoonpanojen valmistuttua aloin rakentaa pääkokoonpanoa. Ensimmäiseksi referenssikappaleeksi asetin pellettikattilan rungon alikokoonpanon ja liitin tähän ruuviliitoksella polttokorin alikokoonpanon. Pääkokoonpanoon lisäsin runkoputken ympärille kierrettävän lämmön talteenottoputkiston ja savupiipun sisään asennettavan lämmön talteenottokierukan. Loin pellettikattilan ympärille eristeet ja suojapellit.

Löysin vielä Internetistä valmiin syöttöilmapuhaltimen 3D-mallin, jonka liitin pellettikattilan pääkokoonpanoon.

Kun pellettikattilan 3D-malli oli valmis, oli helppoa tarkastella tuotetta useammista ja ennennäkemättömistä katselukulmista tarkasti ja tätä kautta aloittaa tuotteen kehitysprosessi.



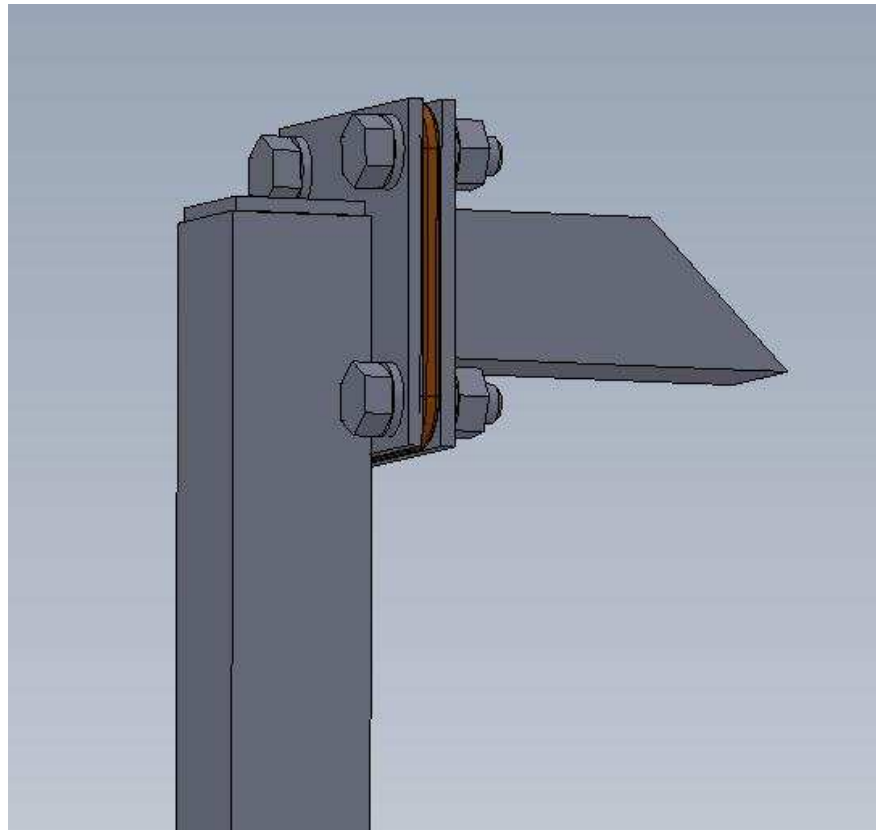
Kuva 7. Pellettikattilan valmis 3D-malli

## 5 PELLETTIKATTILAN ONGELMAKOHDAT JA RATKAISUT

Pellettikattilaa testattiin ensimmäisen kerran syksyllä 2009 ja sitä käytettiin koelämmityskattilana muutaman kuukauden ajan. Pellettikattilan kokoonpanossa, koepoltoissa ja 3D-mallinnuksessa ilmeni kuitenkin useita teknisiä ongelmia liittyen turvallisuuteen, teknisiin puutteisiin, kokoonpanoa vaikeuttaviin seikkoihin sekä käyttäjäystävällisyyteen.

## 5.1 Turvallisuus

Pellettikattilan jalat on hitsattu kiinteästi kattilan palotilan seinämän ulkopuolelle, jolloin pellettikattilaa käytettäessä jalat kuumenevat liikaa ja aiheuttavat sekä tulipalovaaran, että palovammavaaran käyttäjille. Ratkaisin tilanteen katkaisemalla jalan kahteen osaan ja luomalla osien väliin laippaliitoksen. Liitoksen väliin tulee kuumankestävästä materiaalista valmistettu tiivistenauha. Laippaliitos jää lähes kokonaan pellettikattilan rungon eristeiden sisäpuolelle, jolloin välitöntä tulipalovaaraa ja palovammavaaraa ei pääse syntymään.

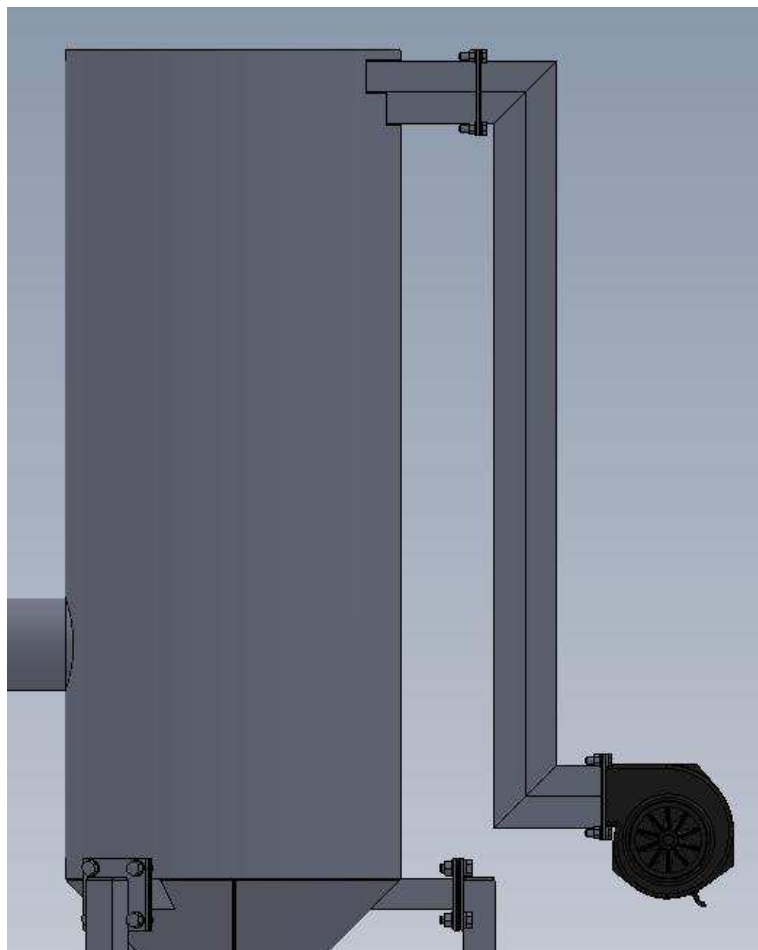


Kuva 8. Paloturvallisuuden vuoksi pellettikattilan jalkoihin lisättiin laippaliitos, jonka väliin saa asennettua kuumankestävän eristeen. Eriste estää kuumuuden johtumisen paljaana olevaan jalkaan, jolloin vältetään tulipalo- sekä palovammavaaralta.

Toisen vaaratilanteen aiheuttaa koepoltoissa ilmi tullut erikoistilanne, sähkökatkos. Ilmapuhallin on sijoitettu liian lähelle palotilaan johtavaa aukkoa, jolloin sähkökatkoksen syntyessä puhallin pysähtyy ja kuumat savukaasut työntyvät

puhaltimen läpi rakennuksen sisätilaan aiheuttaen tulipalovaaran, kun ilmapuhaltimen muoviosat sulavat kuumassa savukaasuvirtauksessa. Myös sähköiskuvaara syntyy, sillä ilmapuhaltimen moottori toimii 230 voltin verkkojännitteellä, ja kuumuuden vuoksi myös sähköjohdinten eristeet sulavat.

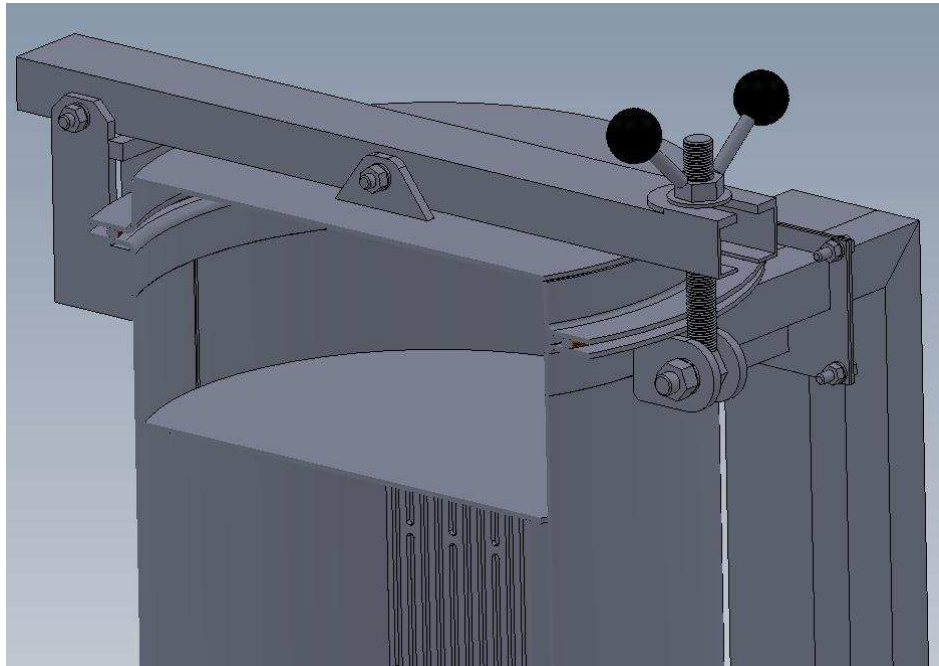
Suunnittelin ilmansyöttöputkiston uudelleen ja siirsin ilmapuhaltimen 700 mm alemmaksi. Tällöin sähkökatkoksen aikana ilmapuhaltimen sammuesssa mahdollinen ilmapuhaltimeen päin tuleva savukaasuvirtaus jäähtyy pitkässä alaspäin suuntautuvassa ilmansyöttökanavassa eikä näin ollen aiheuta muovisen ilmapuhaltimen sulamisvaaraa (Kuva 9).



Kuva 9. Ilmansyöttöpuhallinta siirrettiin 700 mm alemmas sähkökatkoksen aiheuttaman puhaltimen sulamisvaaran vuoksi. Nyt savukaasut jäähtyvät pitkässä pystykanavassa niin paljon, ettei sulamisvaaraa enää ole.

## 5.2 Tekniset puutteet

Pellettikattilan prototyypissä oli palotilan kannen tilalla vain irtonainen raskas valurautalevy, joka ei ollut turvallinen, tiivis eikä käytännöllinen. Suunnittelin pellettikattilaan saranoilla toimivan, lukittavan ja tiivisteellä varustetun kannen. Turvallisuuden vuoksi kansi piti olla myös lämpöeristetty (Kuva 10).



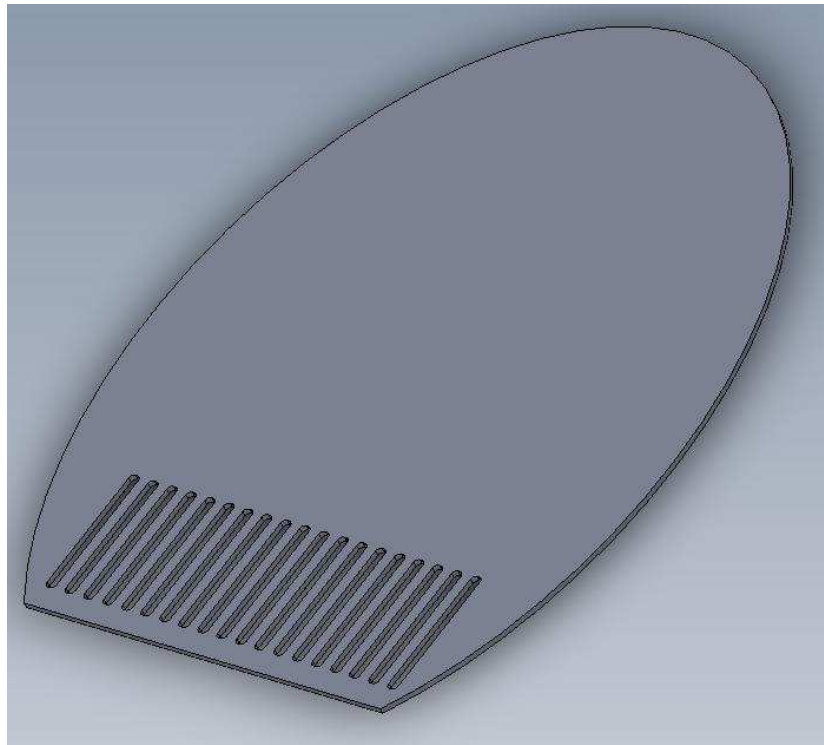
Kuva 10. Uusi kansiratkaisu on yksinkertainen ja helppokäyttöinen. Kannen ja rungon väliin asennetaan kuumankestävä eriste, joka estää savukaasuja virtaamasta sisäilmaan. Kansi kiristetään kuvassa oikealla ylhäällä näkyvällä mutterilla.

Koepolttojen yhteydessä havaittiin, että kattilan sammuttua polttokorin pohjalle jää tuhkaa, kuten kuvassa 11 näkyy. Tuhkan olisi pitänyt valua omalla painollaan viistoa pohjaa myöden arinan läpi palotilan pohjalla sijaitsevaan tuhkatilaan. Arinan pohja on 30°:een kulmassa vaakatasoon nähden ja on näin ollen liian loiva.



Kuva 11. Arinan pohjalevyn ollessa liian loivassa kulmassa vaakatasoon nähden, ei polttokori tyhjenny tuhkasta itsestään.

Ratkaisuksi tuhkan valumisongelmaan asetin pohjan kallistuskulmaksi  $45^\circ$  ja suunnittelin pohjalevyn alapäähän myös 50 mm pitkiä arinarailoja, jolloin tuhka pääsee helpommin valumaan tuhka-astiaan (Kuva 12).

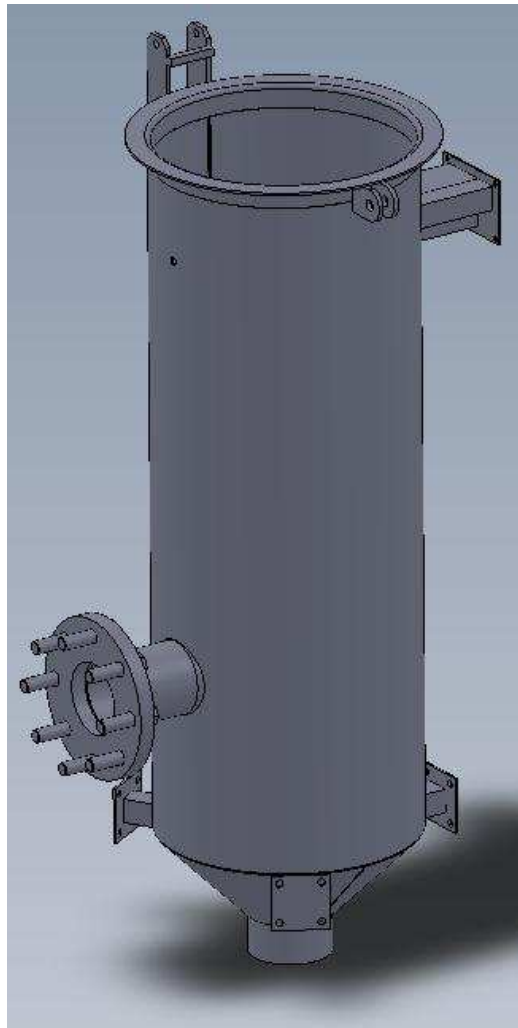


Kuva 12. Polttokorin pohjalevyyn on lisätty arinarailoja edesauttamaan itsestään tapahtuvaa tuhkanpoistoa polttokorin pohjasta. Samalla pohjalevy on suunniteltu asennettavaksi jyrkempään kulmaan, kuin aiempi versio.

### 5.3 Kokoonpanoa hidastavat puutteet

Pellettikattilan kokoonpanovaiheessa huomattiin, kuinka RunPipen asennus on hidasta ja vaikeaa savupiipun ollessa kiinteästi asennettuna pellettikattilan runkoon. Putki pitää kiertää rungon ympärille tiukasti, mutta savupiipun ollessa kiinteästi asennettuna runkoon haittaa se putken asennusta jokaisella kierroksella.

Lämmönsiirtoputkiston asennuksen helpottamiseksi ositin 3D-mallinnuksen ensimmäisen alikokoonpanon kolmeen osaan. Liitin ilmansyöttöputket ruuviliitoksella ja savupiipun laippaliitoksella runkoputkeen. Tämän muutoksen ansiosta lämmönsiirtoputkiston asennus runkoputken ympärille on huomattavasti helpompaa ja nopeampaa (Kuva 13).

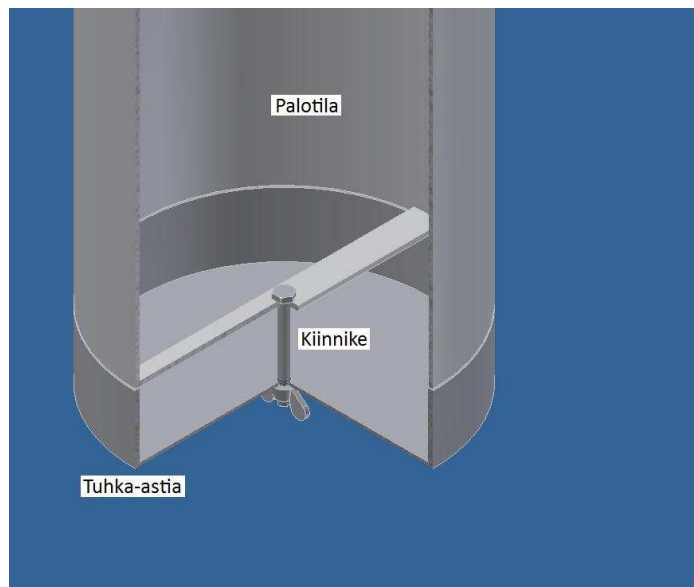


Kuva 13. Lämmön talteenottoputkiston asennuksen helpottamiseksi on kaikki rungon ympärille tulevat varusteet pyritty kasaamaan ruuviliitoksiin. Kuvassa näkyy liityntäyhteet ilmansyöttökanavalle sekä savupiipulle ja ruuviliitospaikat kannelle sekä kolmelle jalalle.

#### 5.4 Käyttäjäystävällisyys ja ergonomia

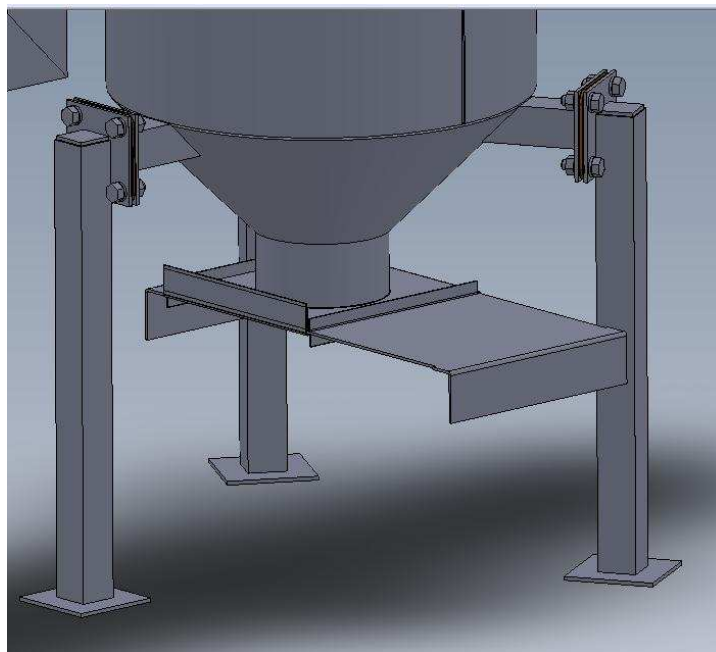
Merkittävä käyttäjäystävällisyyteen liittyvä ongelma-kohta oli tuhka-astian tyhjennys. Tuhka-astia oli kiinni pellettikattilan rungossa siipimutterilla, ja tyhjennyksen yhteydessä käyttäjä joutui työskentelemään epäergonomisessa asennossa, jossa hänen piti kannatella toisella kädellä tuhka-astiaa ja samaan aikaan toisella kädellä ruuvata siipimutteria auki.





Kuva 14. Alkuperäinen tuhkanpoistoastia oli erittäin epäergonominen ja hankala käyttää.

Uudessa versiossa muutin pellettikattilan runkoputken alaosa siten, että runkoputken alapäähän hitsataan supistuskartio, johon kiinnitetään muun muassa pölynpoistotekniikassa käytettävä käsikäyttöinen sulkupelti (Kuva 15).



Kuva 15. Uusi tuhkanpoistomekanismi on helppokäyttöinen ja ergonominen. Käyttäjä työntää tyhjän astian pellettikattilan alle ja vetää sulkupellin auki, jolloin tuhka putkoaa tyhjään astiaan.

## 6 2D-TYÖKUVIEN LUONTI

Solidworks 2009 -ohjelmassa on 2D-työkuvien tekoa varten erittäin tehokas työkalu, jossa valmis 3D-malli sijoitetaan haluttuna kokonaisuutena ”piirustusarkille”, ja ohjelma tekee siitä automaattisesti 2D-kuvan. Kyseinen kuva sisältää kaiken tiedon, mitä 3D-mallinnusvaiheessa siihen on lisätty, kuten yksittäisten osien nimet, valmistusmateriaalit ja kappaleiden lukumäärät. Näiden tietojen pohjalta ohjelma pystyy helposti luomaan kuvaan tarvittavan osaluettelon kaikkine tietoineen.

Kuvaan pitää itse lisätä mittatiedot ja yksityiskohdat, kuten osasuurennot ja leikkauskuvat. Myös hitsausmerkinnät ja muut valmistukseen vaadittavat tiedot pitää käyttäjän itse lisätä kuvaan.

Pellettikattilan 3D-mallin valmistuttua tein 2D-työkuvat siten, että ensimmäisenä loin pääkoonpanokuvan, johon sijoitin pellettikattilan kaikkine osineen (Liite 2). Lisäsin kuvaan myös yhden leikkauskuvannon, jolloin pellettikattilan sisäosia pääsee tarkastelemaan helposti. Lisäksi loin kuvaan kolmiulotteisen mallin esittämään tuotteen lopullista muotoa, jolloin valmistajat pystyvät helposti havainnoimaan lopullisen tuotteen ulkomuodon.

Saatuani pääkoonpanokuvan valmiiksi, loin kuvasarjaan entistä tarkempia 2D-työkuvia. Koska 3D-malli koostuu kolmesta alikoonpanosta, loin myös 2D-työkuvat sen mukaisesti, eli seuraavaksi loin kolme tarkempaa koonpanokuvaa: rungon koonpanokuva (Liite 3), polttokorin koonpanokuva sekä savupiipun koonpanokuva. Lopuksi loin yksittäisistä osista valmistuskuvat (Liite 4). Rungon putkiosasta ja polttokorin putkiosasta piti luoda levityskuvat \*.dxf -tiedostomuotoon, koska kyseiset osat on tarkoitettu leikattavaksi levystä automaattisella laserleikkurilla, minkä jälkeen osat mankeloidaan haluttuun muotoon. Levityskuvien luonti onnistuu 3D-mallinnusohjelmilla vaivattomasti. Myös muista yksittäisistä osista, kuten esimerkiksi arinasta, kannen osista ja jalkojen laippakiinnityslatoista, piti luoda automaattipolttoleikkausta varten kuvatiedostot \*.dxf -tiedostomuotoon.

## LÄHTEET

1. Öljylämmityskattiloiden kunnostaminen säästää energiaa ja ympäristöä. 2007. Saatavissa: [http://www.co2-raportti.fi/?heading=%D6ljyl%C3%A4mmityskattiloiden-kunnostaminen-s%C3%A4%C3%A4st%C3%A4%C3%A4-energiaa-ja-ymp%C3%A4rist%C3%B6%C3%A4&page=ilmastouutisia&news\\_id=680](http://www.co2-raportti.fi/?heading=%D6ljyl%C3%A4mmityskattiloiden-kunnostaminen-s%C3%A4%C3%A4st%C3%A4%C3%A4-energiaa-ja-ymp%C3%A4rist%C3%B6%C3%A4&page=ilmastouutisia&news_id=680) [viitattu 10.1.2011].
2. Cats – Aallotettu putki. 2011. Saatavissa: <http://nanea.fi/index.php?id=15> [viitattu 10.1.2011].
3. Aatinen, H. 2011. Suomen metsäteollisuuden historia tiivistetysti. Saatavissa: <http://www.metsateollisuus.fi/Infokortit/historialyhyesti/Sivut/default.aspx> [viitattu 10.1.2011].
4. Torvelainen, J. 2009. Pientalojen polttopuun käyttö 2007/2008. Saatavissa: <http://www.metla.fi/tiedotteet/metsatilastotiedotteet/2009/pientalopolttopuu2008.htm> [viitattu 10.1.2011].
5. Väkevä, J. 2010. Suomen metsävarat kasvavat jatkuvasti. Saatavissa: <http://www.metsateollisuus.fi/Infokortit/suomen%20metsavaratkasvavat/Sivut/default.aspx> [viitattu 10.1.2011].
6. Olkiluoto 1 ja Olkiluoto 2. 2011 . Saatavissa: <http://www.tvo.fi/www/page/ol1ol2/> [viitattu 10.1.2011].
7. Helynen, S., Honkatukia, J. & Larjava, K. 2009. VTT visioi energiatulevaisuutta. Saatavissa: <http://www.vtt.fi/news/2009/06042009.jsp> [viitattu 10.1.2011].
8. Leino, R. 2008. Uraani riittää jopa 160 000 vuodeksi. Saatavissa: <http://www.tekniikkatalous.fi/energia/article147634.ece> [viitattu 10.1.2011].
9. History of Illinois basin posted crude oil prices. 2011. Saatavissa: [http://www.ioga.com/Special/crudeoil\\_Hist.htm](http://www.ioga.com/Special/crudeoil_Hist.htm) [viitattu 14.2.2011].

10. Holopainen, K. 2009. Puun poltto on ekologista ja saastuttavaa. Saatavissa: [http://www.kiertokapula.fi/attachments/kk\\_tietokapula\\_2703.pdf](http://www.kiertokapula.fi/attachments/kk_tietokapula_2703.pdf) [viitattu 10.1.2011].
11. Maalämpö. 2011. Saatavissa: <http://www.senera.fi/Maalampo> [viitattu 10.1.2011].
12. Kivihiili. 2011. Saatavissa: <http://www.energia.fi/fi/sahko/sahkontuotanto/kivihiili> [viitattu: 10.1.2011].
13. Karhunen, T. & Nuutinen, K. 2009. Pienpolton hiukkaspäästöt ja niiden vähentäminen.
14. Lohi, A., Mattila, I., Saukko, H. 2008. Energianlähteenä puupelletti. Saatavissa: [http://www.kainuu.fi/UserFiles/kylateemaohjelma/File/Puupelletti\\_1051610347.pdf](http://www.kainuu.fi/UserFiles/kylateemaohjelma/File/Puupelletti_1051610347.pdf) [viitattu 10.1.2011].
15. Luonnollista polttoainetta aidoista raaka-aineista. 2011. Saatavissa: <http://www.vapo.fi/fin/yksityisasiakkaat/lammityspolttoaineet/pelletit/?id=1580> [viitattu 10.1.2011].
16. Pelletin historiaa. 2011. Saatavissa: [http://www.pellettienergia.fi/index.php?option=com\\_content&view=article&id=61&Itemid=69](http://www.pellettienergia.fi/index.php?option=com_content&view=article&id=61&Itemid=69) [viitattu 10.1.2011].
17. Kokkonen, A. & Paukkunen, S. Pohjois-Karjalan puupellettitiedote. Saatavissa: [http://www.pellettikarelia.fi/pelletti\\_karelia/materiaali/pelletti\\_tiedote.pdf](http://www.pellettikarelia.fi/pelletti_karelia/materiaali/pelletti_tiedote.pdf) [viitattu 10.1.2011].
18. Irjala, C. Puupelletti tutuksi. Saatavissa: <http://www.elda.fi/puupelletti.htm> [viitattu 10.1.2011].

19. RunPipe -Aallotettu putki. 2011. Saatavissa:  
[http://www.runtechenergy.fi/images/stories/rs/esite\\_runpipe\\_suomi\\_310111.pdf](http://www.runtechenergy.fi/images/stories/rs/esite_runpipe_suomi_310111.pdf) [viitattu 2.2.2011].
20. Nanea Oy:n tuotteet Runtech Energylle. 2011. Saatavissa:  
<http://www.runtechenergy.fi/yritys/uutiset/27-nanea-oy-n-tuotteet-runtech-energylle-01022011> [viitattu 3.2.2011].
21. History. 2011. Saatavissa:  
<http://usa.autodesk.com/adsk/servlet/index?siteID=123112&id=12268749> [viitattu 3.2.2011].
22. Tietoja SolidWorksista. 2011. Saatavissa:  
[http://www.solidworks.fi/sw/6453\\_SVF\\_HTML.htm](http://www.solidworks.fi/sw/6453_SVF_HTML.htm) [viitattu 3.2.2011].



